

Enregistrement scientifique n° : 1398

Symposium n° : 12

Présentation : poster

**Hot water-soluble organic matter and aggregate
stability of clayey ferrallitic soils**
**La matière organique soluble à l'eau chaude et la
stabilité de l'agrégation dans les sols ferrallitiques
argileux**

KOUAKOUA Ernest (1), **FREITAS Pedro Louis de** (2), **NEVES Carmen** (3),
BARTHES Bernard (1), **SALA Georges-Henri** (1) & **Christian FELLER** (1)

(1) ORSTOM, Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés (LCSC), B.P. 5045, 34032 Montpellier Cedex, France.

(2) EMBRAPA-CNPS, Rua Jardin Botânico, 1024, 22460-000, Rio de Janeiro, Brésil.

(3) Université de Londrina, Département d'Agronomie, C.P. 6001, CEP 86051, Londrina (PR.), Brésil.

The organic matter is generally one of the most important determinant of structural stability of soils. Recently hot-water soluble organic matter was found to play essential role in soil aggregate stability. In order to study this role, 13 samples from surface horizons of clayey ferrallitic soils from Congo, Brazil and Martinique were collected.

In each sample, total carbon content (Ct), content of soluble organic carbon (Cs) after 1 hr. of hot-water extraction, amounts of cold-water (20°C) stable macroaggregates (AS) and hot-water (90°C) stable macroaggregates (AS_e), were determined.

Aggregate stability was highly correlated with both soluble and total carbon contents. This results indicated the importance of the role played by hot-water soluble organic matter in the stability of soil aggregation. However, amounts of cold-and hot-water stable macroaggregates were not significantly different.

Although, the existence of statistic relationship between Cs and AS, we conclude that hot-water soluble organic matter does not constitute an aggregating fraction in this soils. So, it is important to be careful in causal interpretation correlated parameters and to make direct control.

Key words : organic matter, aggregate stability, hot water treatment, oxisol, tropical zone

Mots clés : matière organique, stabilité des macroagregats, traitement eau chaude, sol ferrallitique, zone tropicale

Enregistrement scientifique n° : 1398

Symposium n° : 12

Présentation : poster

Hot water-soluble organic matter and aggregate stability of clayey ferrallitic soils

La matière organique soluble à l'eau chaude et la stabilité de l'agrégation dans les sols ferrallitiques argileux

KOUAKOUA Ernest (1), **FREITAS Pedro Louis de** (2), **NEVES Carmen** (3), **BARTHES Bernard** (1), **SALA Georges-Henri** (1) & **Christian FELLER** (1)

(1) ORSTOM, Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés (LCSC), B.P. 5045, 34032 Montpellier Cedex, France.

(2) EMBRAPA-CNPS, Rua Jardin Botânico, 1024, 22460-000, Rio de Janeiro, Brésil.

(3) Université de Londrina, Département d'Agronomie, C.P. 6001, CEP 86051, Londrina (PR.), Brésil.

Introduction

De nombreux travaux sur les sols tropicaux ont montré qu'il existe des relations étroites entre la teneur en matière organique (MO) des horizons de surface et leur stabilité structurale (Feller *et al.*, 1996). Depuis longtemps, les polysaccharides sont considérés comme l'un des facteurs primordiaux dans la stabilité de l'agrégation. Dans certains sols (Rennie *et al.*, 1954), 5 à 25 % de la matière organique du sol sous forme de carbohydrates (Cheshire, 1979) sont responsables de la stabilité de l'agrégation. Récemment, divers travaux ont mis en évidence des corrélations fortes entre les teneurs en glucides solubles à l'eau chaude et la stabilité à l'eau des macroagrégats stables (AS) pour les sols cultivés des régions tempérées (Haynes *et al.*, 1991 ; Angers *et al.*, 1993 ; Ball *et al.*, 1996) et tropicales (Gijssman et Thomas, 1995). Ces auteurs concluent que l'essentiel de la stabilité de l'agrégation pourrait être expliqué par la fraction organique soluble à l'eau chaude.

L'objectif de ce travail est donc d'apprécier le rôle des MO solubles à l'eau chaude dans la stabilité de l'agrégation, pour une collection de 13 échantillons d'horizons de surface de sols ferrallitiques argileux du Congo, du Brésil et de la Martinique.

Matériels et méthodes

Présentation des situations. Cette étude est appliquée à une gamme d'échantillons de surface (0-10 cm). Les caractéristiques pédologiques des trois zones d'études sont présentées dans le Tableau 1.

1 - La première zone comporte six situations de sols ferrallitiques argileux de la Vallée du Niari au Congo :

a) à Loudima (Congo-L) : une savane dégradée (LS0) de plus de 20 ans ; une jachère naturelle de 4 ans après plusieurs années de manioc (LJ) ; une parcelle sous culture de manioc depuis 20 ans (LM) ;

b) à Nkayi (Congo-L), une parcelle sous culture intensive et mécanisée de canne à sucre depuis 15 ans (LC) ;

c) à Mantsoumba (Congo-M), une savane naturelle (MS) et une parcelle sous culture intensive et mécanisée de manioc depuis 17 ans (MM).

2 - La seconde zone regroupe six situations de sols ferrallitiques argileux qui sont localisées dans deux Etats au Brésil : le Goiás (dans la région de Goiânia) et le Paraná (dans la région de Londrina) :

a) à Goiânia (Brésil-G), trois parcelles sont étudiées : (i) une savane dégradée arbustive à arborée (CER) ; (ii) une parcelle sous pâturage artificiel de longue durée (PAL), mis en place depuis plus de 15 ans, replanté en *Brachiaria brizanthae* depuis cinq ans ; (iii) une parcelle sous rotation maïs/haricot depuis cinq ans (CCL) avec un travail du sol sur 15 cm ;

b) à Londrina (Brésil L), trois parcelles sont retenues : (i) une parcelle sous forêt naturelle (FN) ; (ii) une parcelle cultivée en avoine depuis plus de 20 ans (CA) avec un travail du sol ; (iii) une parcelle de verger de *Citrus* de 10 ans, avec couverture de légumineuse (CL) à *Arrachis prostrata* disposée en bandes entre les arbres fruitiers.

3 - Enfin, la troisième zone correspond à un sol faiblement ferrallitique argileux de la Martinique nommé « ferrisol » par Colmet-Daage et Lagache (1965), localisé dans la plantation de Sainte-Marie ; il s'agit d'une parcelle sous culture de canne à sucre depuis 20 ans (T).

Les principales caractéristiques (Tableau 1) des horizons de surface des différentes parcelles peuvent être résumées ainsi : les sols sont très acides au Congo-M, acides au Congo-L et Brésil-G et acides à neutres au Brésil-L. La teneur en fer-CBD est plus élevée dans les sols du Brésil-L que ceux du Brésil-G, Congo-L et Congo-M. L'argile minéralogique prédominante est la kaolinite associée à la goëthite au Congo, à l'hématite, à la gibbsite et à la goëthite au Brésil et à l'halloysite et à la goëthite à la Martinique. Enfin, cette collection d'échantillons permet, pour ces sols argileux, de couvrir une large gamme de teneur en C total (17,7 à 42,5 g kg⁻¹ sol).

Analyses physico-chimiques. L'analyse granulométrique est effectuée par la méthode de la pipette de Robinson. Les minéraux phyllosilicatés et les oxyhydroxydes cristallisés sont identifiés par diffractomètre Siemens D 500 informatisé. Le carbone total est dosé par combustion voie sèche à l'auto-analyseur CHN LECO 600. Le carbone solubilisé par l'extraction à l'eau chaude est dosé après refroidissement sur le filtrat obtenu par centrifugation (4000 tours pendant 30 mn) et filtration avec un analyseur TOC 5000 (marque Shimadzu).

Les formes cristallisées du fer et de l'aluminium sont extraites par le réactif CBD de Mehra-Jackson (citrate-bicarbonate-dithionite de sodium) selon le protocole décrit par Rouiller *et al.* (1994). Les mesures de pH à l'eau sont effectuées en suspension avec un rapport sol/solution de 1/2,5.

Mesure de la stabilité structurale à l'eau. La détermination de la stabilité des agrégats dans l'eau, adaptée de la méthode de Kemper et Rosenau (1986), suit la méthodologie présentée par Kouakoua *et al.* (1997). 4 g d'échantillons de sol séchés à l'air et tamisés à 2 mm sont soumis à une humectation par immersion pendant 30 min puis tamisés dans l'eau au moyen d'un agitateur vertical à mouvement alternatif (1,3 cm

d'amplitude verticale, 35 cycles par min.) pendant 6 min. La fraction restante sur le tamis représente la somme des macroagrégats stables à l'eau froide (20 °C) (AS > 200 µm) et des sables grossiers (SG). Sur la fraction ayant traversé le tamis, on détermine par la méthode à la pipette Robinson la fraction "argile + limon fin" dispersée (A + Lf)_d. La fraction > 200 µm est ensuite totalement dispersée par la soude diluée (0,05 M, NaOH), pour déterminer le taux des macroagrégats stables à l'eau AS (fraction > 200 µm - Sables grossiers). Tous les résultats sont exprimés en g kg⁻¹ de sol séché à 105 °C.

Traitement à l'eau chaude (selon Kouakoua *et al.*, 1997). 4 g d'échantillon séché à l'air et tamisé à 2 mm sont directement pesés sur un tamis 200 µm, et le tamis est immergé dans un bécher contenant 100 ml d'eau déminéralisée. L'ensemble est placé dans une étuve à 90°C sous pression atmosphérique pendant environ 1 heure et 40 min (soit 40 min de montée en température et 1 heure à 90°C). Après refroidissement, les macroagrégats stables obtenus après traitement à l'eau chaude (ASe) sont déterminés comme précédemment. La fraction dispersée est nommée (A + Lf)_{de}.

Précision des mesures. Toutes les mesures font l'objet d'au moins trois répétitions. Les études de comparaison de moyenne sont faites à l'aide de la méthode des plus petites différences significatives au seuil de 5 % (least significant differences : LSD).

Résultats

Stabilité des agrégats à l'eau. Le Tableau 2 et la figure 1 montrent que, au **Congo**, les taux de macroagrégats stables à l'eau des horizons 0-10 cm sont significativement plus élevés sous savane (LS0 et MS) (669 et 746 g kg⁻¹ sol) que sous culture de manioc (LM et MM) (571 et 585 g kg⁻¹ sol) alors que ceux sous jachère LJ ou sous canne à sucre LC sont intermédiaires et peu différents entre eux (621 et 651 g kg⁻¹ sol).

Au **Brésil** : à Goiânia, ces taux sont significativement plus élevés sous cerrado CER (615 g kg⁻¹ sol) mais aussi sous pâturage PAL (623 g kg⁻¹ sol) que sous rotation maïs/haricot (541 g kg⁻¹) ; à Londrina, ils sont aussi significativement plus élevés sous forêt FN (752 g kg⁻¹ sol) que sous culture d'avoine CA (551 g kg⁻¹ sol). La parcelle sous couverture de légumineuse CL présente un taux de macroagrégats stables à l'eau intermédiaire (639 g kg⁻¹ sol) entre forêt FN et avoine CA.

Enfin, à la **Martinique**, le taux d'AS (640 g kg⁻¹ sol) est intermédiaire entre ceux des autres situations (541 - 752 g kg⁻¹ sol).

Tous échantillons confondus, le taux d'éléments fins dispersés (A + Lf)_d < 20 µm est faible, variant de 7 à 66 g kg⁻¹ sol (Tableau 2), alors que l'analyse mécanique révèle des teneurs en argile + limon fin totaux (A + Lf)_t d'environ 800 g kg⁻¹ sol, soit un indice de dispersion $D = (A + Lf)_d / (A + Lf)_t$ inférieur à 0,084.

Relations entre stabilité de l'agrégation à l'eau et différentes formes des MO de sols. Tous échantillons confondus (n=13), le taux des macroagrégats stables à l'eau AS est significativement corrélé aux taux de carbone total Ct (r = 0,79 ; p < 0,01) et de carbone soluble à l'eau chaude Cs (r = 0,80 ; p < 0,01) (figure 2). A noter que, le coefficient de corrélation entre Ct et Cs (r = 0,61 ; p < 0,05) est nettement plus faible que ceux entre AS et Ct ou Cs.

Stabilité des agrégats après extraction à l'eau chaude. Afin de déterminer directement l'effet de l'extraction à l'eau chaude sur la stabilité de l'agrégation, le taux des macroagrégats stables à l'eau après extraction à l'eau chaude a été mesuré. Le tableau 2 et la figure 1 montrent que les taux de macroagrégats stables à l'eau froide (AS) et après

(ASe) extraction à l'eau chaude ne sont pas significativement différents (au seuil de 5 %). Quelques variations apparaissent significatives pour les taux d'argile + limon fin dispersés (A + Lf)de (Tableau 2), mais elles sont toujours faibles en valeurs absolue.

Discussion et conclusion

Les sols étudiés ont une stabilité structurale élevée. Leur désagrégation dans l'eau est due essentiellement au phénomène d'éclatement, le phénomène de dispersion apparaissant très faibles comme l'indiquent les valeurs faibles de (A + Lf)d.

Avec la mise en culture, on assiste à une nette diminution des taux de macroagrégats stables à l'eau. Ceci est en accord avec de nombre travaux sur des sols tropicaux mettant en oeuvre d'autres méthodes d'étude de la stabilité structurale (Combeau *et al.* 1961 ; Martin, 1963 ; Feller *et al.* 1996). Les autres modes de gestion des terres tels que la jachère, la prairie plantée, la couverture de légumineuse herbacée ou la culture de canne à sucre, qui s'accompagnent tous de restitutions essentiellement herbacées, conduisent à des taux de AS soit intermédiaires entre végétation naturelle et cultures continues longue durée, soit parfois égaux à ceux des témoins sous végétation naturelle. Ceci confirme les données anciennes de Morel et Quantin (1972) pour des sols de la République Centrafricaine.

Nos résultats confirment la relation entre la stabilité de l'agrégation et les teneurs en carbone soluble à l'eau chaude. On se rapproche ainsi des observations de Haynes *et al.* (1991) établies sur des sols tempérés.

La seule existence d'une corrélation positive entre AS et Cs des échantillons ne permet toutefois pas d'affirmer que la MO soluble à l'eau chaude est responsable des variations de stabilité de l'agrégation, puisque le taux des macroagrégats après extraction à l'eau chaude (ASe) n'est pas significativement différent de celui après traitement à l'eau froide (AS). La MO soluble à l'eau chaude ne constitue pas donc une fraction agrégante pour ces sols ferrallitiques. On pourrait toutefois expliquer la relation significative entre AS et Cs par un éventuel effet protecteur de l'agrégation vis à vis de la minéralisation des MO solubles à l'eau chaude. Des études spécifiques sur ce sujet sont nécessaires.

Références Bibliographiques

- Angers, D.A., Samson, N. & Légère, A. 1993. Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Canadian Journal of Soil Science*, 73, 51-59.
- Ball, B.C., Cheshire, M.V., Robertson, E.A.G. & Hunter, E.A. 1996. Carbohydrate composition in relation to structural stability, compactibility and plasticity of two soils in a long-term experiment. *Soil and Tillage Research*, 39, 143-160.
- Cheshire, M.V. 1979. Nature and origin of carbohydrates in soils. *Academic Press*, London, 216 p.
- Colmet-Daage, F. & Lagache, P., 1965. Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles françaises. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, 3, 91-121.
- Combeau, A., Ollat, C. & Quantin, P. 1961. Observations sur certaines caractéristiques des sols ferrallitiques. Relations entre les rendements et les résultats d'analyse des sols. *Fertilité*, 13, 27-40.

- Feller, C., Albrecht, A. & Tessier, D. 1996.** Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In Carter M.R., and Stewart B.A. (eds), Structure and organic matter storage in agricultural soils. *Advances in Soil Science*, Lewis, New York, pp. 309-359.
- Gijsman, A.J & Thomas, R.J. 1995.** Aggregate size distribution and stability of an oxisol under legumes-based and pure grass pastures in eastern Columbian savannas. *Australian Journal of Soil Research*, 33, 153 - 165.
- Haynes, R.J., Swift R.S., & Stephen R.C. 1991.** Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil and Tillage Research*, 19, 77-87.
- Kemper, W.D. & Rosenau, R.C. 1986.** Aggregate stability and size distribution. in : «Methods of soil analysis. Part. I : Physical and mineralogical methods» A. *KLUTE (ed). Second edition*, pp. 425-442.
- Kouakoua, E., Sala, G.-H., Barthès. B., Larré-Larrouy, M.C., Albrecht, A. & Feller, C. 1997.** La matière organique soluble à l'eau chaude et la stabilité de l'agrégation. Aspects méthodologiques et application à des sols ferrallitiques du Congo. *European Journal of Soil Science*, 48, 239-247.
- Larré-Larrouy, M. C. & Feller, C. 1997.** Determination of carbohydrates in two ferrallitic soils : Analysis by capillary gas chromatography after derivatization by silylation. *Soil Biology and Biochemistry*, 29, 9/10, 1585-1589.
- Martin, G. 1963.** Dégradation de la structure des sols sous culture mécanisée dans la Vallée du Niari. *Cahiers Orstom, Série Pédologie*, 8-14.
- Morel, R. & Quantin, P. 1972.** Observations sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à Grimari (République Centrafricaine). *Agronomie Tropicale*, 27, 667-739.
- Oades, J.M., Kirkman, M.A. & Wagner, G.H. 1970.** The use of gas-liquid chromatography for the determination of sugars extracted from soils by sulfuric acid. *Soil Science Society of America Proceedings*, 34, 230-235.
- Rennie, D.A., Truog, E. & Allen, O.N. 1954.** Soil aggregation as affected by microbial gums, level of fertility and kind of crop. *Soil Science. Society of America Proceeding*, 18, 339-403.
- Rouiller, J., Souchier, B., Bruckert, S., Feller, C., Toutain, F. & Vedy, J.C. 1994.** Méthodes d'analyses des sols. In: Pédologie 2. *Constituants et propriétés du sol. Chap. XXXI*, 2nd edn (ed.M. Bonneau & B. Souchier), pp. 623-631. Masson, Paris.

Key words : organic matter, aggregate stability, hot water treatment, oxisol, tropical zone

Mots clés : matière organique, stabilité des macroagrégats, traitement eau chaude, sol ferrallitique, zone tropicale

Tableau 1 - Quelques caractéristiques générales des échantillons de surface (0-10 cm) étudiés .

Zone	Situation	Symbole	Argile	Limons	Sable	Minéralogie	Ct	pH eau	CEC	BE	Fe	Al
			%				g/kg		cmol (+) /kg		% (CBD)	
Congo-L	savane	LS0	76,8	9,2	9,6	k+g	35,0	5,0	3,6	1,8	3,0	0,6
	manioc (20 ans)	LM	65,8	19,9	14,3	"	21,8	6,0	5,3	4,8	3,6	0,7
	canne à sucre (15 ans)	LC	78,0	12,0	10,0	"	27,0	4,3	4,6	3,8	1,9	0,5
	jachère (4 ans)	LJ	59,0	27,0	14,0	"	36,4	5,5	9,3	9,1	3,2	0,8
Congo-M	savane	MS	38,2	32,3	29,5	"	42,5	5,0	7,6	5,1	3,4	0,7
	manioc (17 ans)	MM	59,8	21,5	13,7	"	18,0	4,4	4,6	2,9	1,2	0,2
Brésil-G	savane	CER	46,0	20,0	34,0	k+hm+gb+g	23,8	5,5	1,4	0,8	3,5	0,5
	maïs/haricot	CCL	50,0	15,0	35,0	"	21,4	5,2	2,4	2,5	3,9	0,5
	prairie (15 ans)	PAL	36,0	16,0	48,0	"	22,0	5,9	2,5	2,6	3	0,5
Brésil-L	forêt	FN	80,0	16,0	4,0	"	31,9	6,8	12,5	10,5	8,7	0,5
	avoine (20 ans)	CA	70,7	19,8	9,6	"	17,7	5,7	8,5	3,3	7,1	0,4
	légumineuse (10 ans)	CL	68,7	21,7	9,6	"	24,5	5,9	10,4	8,0	7,2	0,5
Martinique	canne à sucre (20 ans)	T	49,8	20,6	21,1	k+h+g	27,0	5,4	12	10,8	4,6	nd

* k = kaolinite, g = goethite, gb = gibbsite, hm = hématite, h = halloysite, nd = non déterminé

Tableau 2 - Teneurs en carbone soluble à l'eau chaude (Cs), en macroagrégats stables à l'eau froide (AS) et après (ASe) traitement à l'eau chaude, et en éléments fins dispersés à l'eau froide (A + Lf)d et après traitement à l'eau chaude (A + Lf)de

Zone d'étude	Echantillons	Cs	m ± i.c. (g kg ⁻¹)			
			AS	(A + Lf)d	ASe	(A + Lf)de
Congo-L	LS0	0,9	669 ± 15	55 ± 2	667 ± 58	56 ± 15
	LJ	0,4	621 ± 45	41 ± 4	582 ± 27	81 ± 4
	LM	0,5	571 ± 27	48 ± 9	nd	nd
	LC	0,8	651 ± 44	66 ± 6	599 ± 43	43 ± 8
Congo-M	MS	0,9	746 ± 26	7 ± 1	754 ± 23	11 ± 2
	MM	0,6	585 ± 57	17 ± 3	599 ± 27	25 ± 13
Brésil-G	CER	0,6	615 ± 12	2 ± 0	621 ± 28	12 ± 1
	PAL	0,5	623 ± 34	8 ± 1	652 ± 23	10 ± 2
	CCL	0,4	541 ± 34	1 ± 0	547 ± 32	15 ± 2
Brésil-L	FN	0,9	752 ± 67	12 ± nd	793 ± 46	14 ± nd
	CA	0,3	551 ± 61	23 ± nd	548 ± 58	26 ± nd
	CL	0,4	639 ± 29	30 ± nd	663 ± 65	35 ± nd
Martinique	T	0,8	640 ± 34	55 ± 5	595 ± 50	66 ± 12

* 3 à 4 répétitions par échantillon, m = moyenne, i.c. = intervalle de confiance à 5 %, nd = non déterminé.

Figure 1 - Variations des taux de macroagrégats stables à l'eau froide (AS) et après (ASe) traitement à l'eau chaude

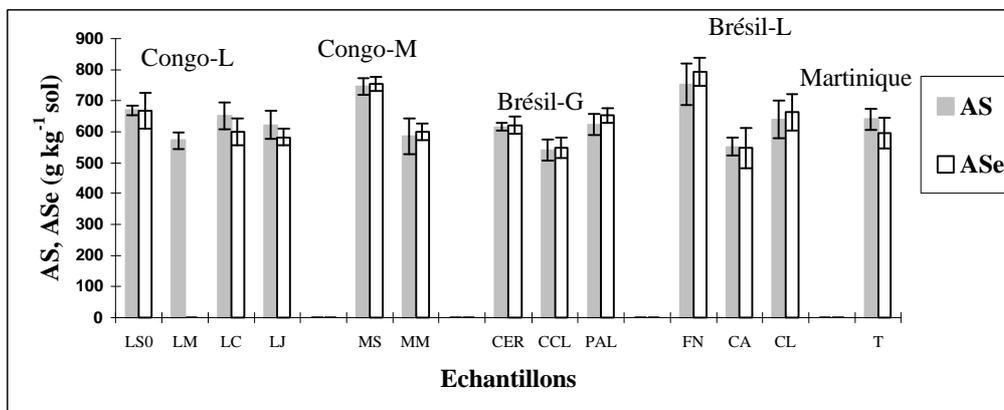


Figure 2 - Relations entre taux de macroagrégats stables à l'eau et teneurs en carbone total (Ct) et carbone soluble à l'eau chaude (Cs)

